

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-091701
(43)Date of publication of application : 06.04.2001

(51)Int.Cl. G02B 1/00
G02B 5/04
G02B 5/18
G02B 5/28
G02B 6/12

(21)Application number : 11-309804 (71)Applicant : KAWAKAMI SHOJIRO

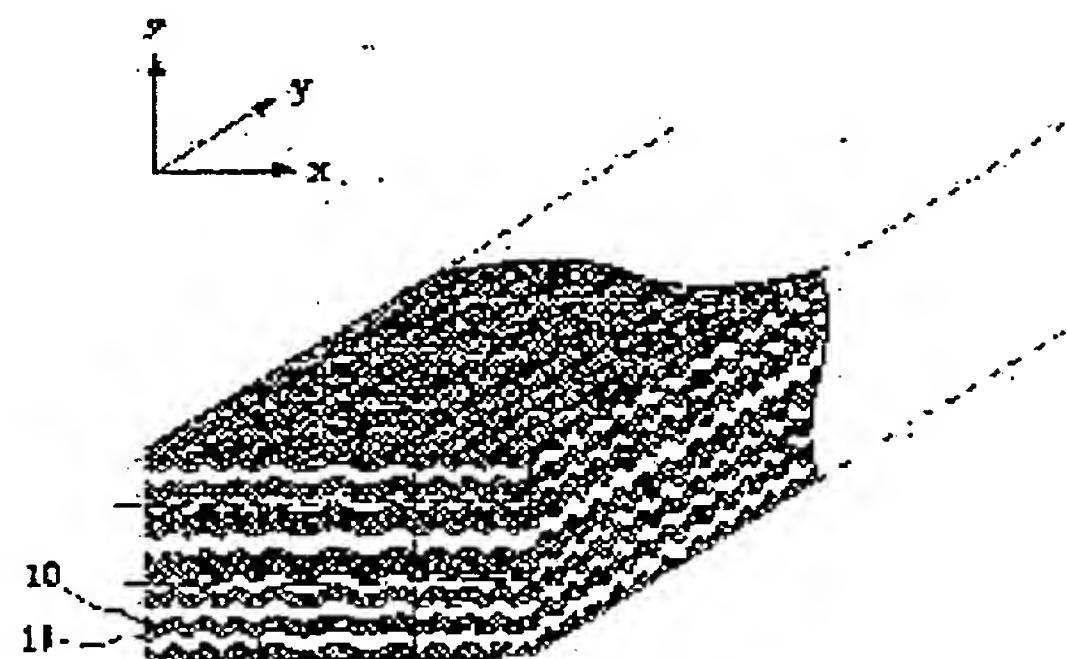
AUTOCLONING
TECHNOLOGY:KK

(22)Date of filing : 25.09.1999 (72)Inventor : KAWAKAMI SHOJIRO
ODERA YASUO
SAKAI YOSHITAKE

(54) PHOTONIC CRYSTAL WITH MODULATED GRATING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such problems that the latitude for the design of an optical circuit is low and designing a circuit having less sensitivity to manufacture errors is difficult because of the conventional assumption that the basic periodical length and direction of the basic period in the structure of a photonic crystal as the structural material of optical circuit parts are basically constant in the plane or volume of the crystal on the analogy of a natural crystal such as a semiconductor.



SOLUTION: In a two-dimensional or three-dimensional photonic crystal having the feature that it is produced by depositing layers of substances on a substrate, the basic periodical length or the direction of the period of the crystal are not uniform in the relation of the position in the crystal, but are gradually varied or varied stepwise with the position and if necessary, varied in the perpendicular direction to the substrate. Namely, the crystal features a modulated grating. By this technique, wide latitude of processing and latitude of functions are obtained in photonic crystal optical circuit parts.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 07.08.2001
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number] 3766844
[Date of registration] 10.02.2006
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公願番号

特開2001-91701

(P2001-91701A)

(43)公開日 平成13年4月6日(2001.4.6)

(5)IntCl'	類別記号	F1 テ-ガ-コ-ド*(参考)
G 02 B	1/00	G 02 B 1/00 2 H 0 4 2
5/04		5/04 2 H 0 4 7
5/18		5/18 2 H 0 4 8
5/28		5/28 2 H 0 4 9
6/12		6/12 N

(2)出願書類 特願平11-309804

(71)出願人 39100556

(72)出願日 平成11年9月25日(1999.9.25)

川上 彰二郎

宮城県仙台市若林区土崎236番地 愛宕橋

マシションファラオC-09

(73)出願人 599042599

有限会社オートクローニング・テクノロジ

ー

宮城県仙台市若林区土崎236番地 C 9

マシションファラオC-09

(74)発明者 川上 彰二郎

宮城県仙台市若林区土崎236番地 愛宕橋

マシションファラオC-09

(75)【発明の名稱】 格子変調フォトニック結晶

最終頁に説く

(57)【要約】

【課題】 従来、光回路部品の構成材料としてのフォトニック結晶の構造は、半導体で代表される天然結晶との

アロシーカから、基本的な周期長、基本周期の方向が結

晶の面または体積内で基本的に一定であることが前提

となっていた。このため光回路の設計の自由度は低く、

作製部品に敏感でない回路を設計するのに困難であつ

た。この問題を解決する。

【解決手段】 基板の上への物質の積層で作製されるこ

とを特徴とする2次元または3次元フォトニック結晶に

おいて、結晶の基本的な周期長や周期性の方向を、結晶

中の位置に因し一様とせず、位置に因して徐々にまたは

緩やかな階段状に変化させ、基板と垂直な方向にも必要

により変化させること、即ち格子変調を特徴とする。こ

の技術により、フォトニック結晶型光回路部品に応用な

加工の自由度・機能の自由度を提供する。

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、2次元的または3

次元的または3次元的または4次元的または5次元的

構造を有する光回路部品をもつ光波路回路系および

その作製方法に関するものである。

【0002】

【発明の詳細な説明】

【従来技術】 本発明は、光波路回路系に用する応用の

極めて広い技術に関するものであるため、本発明全体に

対応する従来技術を見つけることは難しい。それゆえ、

本発明の干渉型フィルタへの応用、プリズムへの応用、

導波路への応用、曲がり導波路への応用のそれぞれに関

する後述技術を説明する。

【0003】 構造体多層膜に垂直または斜めに入射する

光の干渉作用を利用する波長フィルタは重要な光学部品

である。波長分割多重通には波長幅1 nm程度の狭帯

域性が要求される。複数の波長を利用するので、別々に

作製したフィルタをそれぞれの波長で用いる必要があ

り、システム価格の上昇を招く。また波長域のフィルタ

には高精度な製作の制御が必要とされるので、製品の良品

【特許請求の範囲】

【請求項1】 二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、基本的な周期の方向の一つ以上が空洞的に徐々に緩やかな階段状に変化してい

る部分を少なくともその一部分に含むことを特徴とする光機能素子。

【請求項2】 二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、基本的な周期の長さの一つ以上が空洞的に徐々に緩やかな階段状に変化してい

る部分を少なくともその一部分に含み、使用波長域が当該構造の伝播速度に因することを特徴とする光機能素子。

【請求項3】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、基本的な周期の方向の一つ以上が空洞的に徐々に緩やかな階段状に変化してい

る部分を少なくともその一部に含むものを、自己クローニング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法。

【請求項4】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、基本的な周期の長さの一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部に含み、使用波長域が当該構造の伝播速度に因することを特徴とする構造を、自己クローニング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法。

【請求項5】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、面内の基本的な周期の二つの方向の少なくとも一方で、基本的な周期の長さを空洞的に徐々にないし緩やかな階段状に変化させることにより、面に交わる方向の光の透過率なし反射率の波長依存性が面内で変化していることを特徴とする波長選択フィルタ

【請求項6】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、面内の基本的な周期の二つの方向の少なくとも一方で、基本的な周期の長さを空洞的に徐々にないし緩やかな階段状に変化させることにより、面に交わる方向の光の透過率なし反射率の波長依存性が面内で変化していることを特徴とする波長選択フィルタ

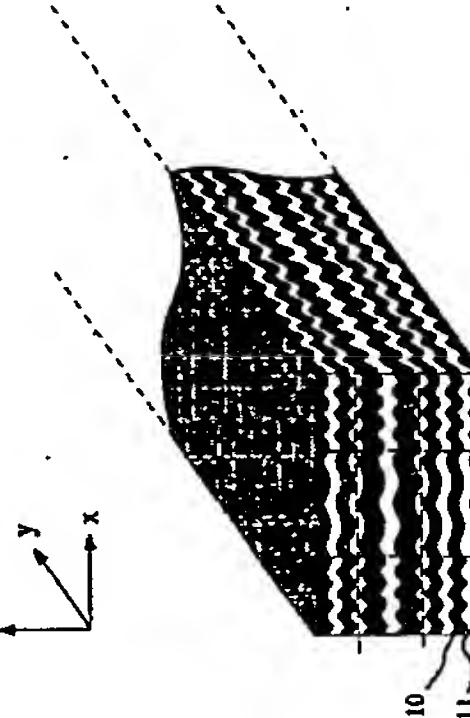
とを特徴とする波長選択フィルタの作製方法。

【請求項7】 面内にそれぞれ二つある基本的な周期の長さと基本的な周期の方向のそれぞれ一つ以上が面内で空洞的に徐々に緩やかな階段状に変化していることにより、同一構造中に異なるスーパー・プリズム作用をもつ複数の領域があることを特徴とする2次元光導波路または板状3次元周期構造体または内部に面平行形の導波構造を有する応用の

【請求項8】 面内にそれぞれ二つある基本的な周期の長さと基本的な周期の方向のそれぞれ一つ以上が面内で空洞的に徐々に緩やかな階段状に変化していることにより、同一構造中に異なるスーパー・プリズム作用をもつ複数の領域があることを特徴とする板状3次元周期構

(58)【発明の名稱】 格子変調フォトニック結晶

見



母は低いという問題もある。③次元または3次元的に周期的な構造をもつ光波路網子はフォトニック結晶と呼ばれ、後述するように極めて広い応用を持つている。

【0005】フォトニック結晶における分散性、異方性を利用して、屈折角が光の波長に対して極めて敏感に変化する「スーパーブリズム効果」が近年報告されている(H. Kosaka et al., "Superprism phenomena in photonic crystals", Physical Review B, vol. 58, no. 16, p. R10096, 1998)。これは波長分割多光通路システムにおいて利用価値が高い、フォトニック結晶の内部から外部へ、あるいは逆方向へ光のビームあるいは波長依存性を持つ効果をする時の折れ曲がり角が著しい波長依存性を持つ効果をスーパーブリズム効果と呼ぶ。

【0006】スーパーブリズムにおいては、材料の吸収率、周期構造の単位セルの寸法ないし形状が設計と一緒に公知のものと大差ない。

【0007】フォトニック結晶中に設けた導波路として公知のものは以下通りである。(1) 半導体の柱の列からなる2次元フォトニック結晶から、柱を一列分離させて導波路のコアとしたもの(A. Mekis et al., "High transmission through sharp bends in photonic crystal waveguide", Physical Review Letter s, vol. 77, no. 18, p. 3787, 1996)、(2)自己クロニング型3次元フォトニック結晶中に成長させた垂直欠陥列をコアとしたもの(O. Hanaizumi et al., "Propagation of light beams along line defects formed in a Si/SiO₂/three-dimensional photonic crystals: Fabrication and observation", Applied Physics Letters, vol. 74, no. 6, p. 777, 1999)、(3)同じく自己クロニング型3次元フォトニック結晶中にリソグラフィとドライエッチプロセスにて形成した基板面平行型導波路(川上ほか、特開平10-335758, 図2)。

(1)の技術では導波路の幅がフォトニック結晶の1周辺分であるため、伝搬するモードの界の広がりが1波長程度と極めて小さく、外部の光源や光ファイバと接続した時に大きな損失が生じる。また(2)の技術では、コアの面積を正確に広く作製できるという利点がある一方で、導波路の長さを結晶の厚さを超過するこ

24, no. 1, p. 49, 1999)、ボンディングを用いる方法(S. Noda et al., "New realization method for three-dimensional photonic crystal in optical wavelength region", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 35, no. 7B, p. L909, 1996)、導波路構造を繰り返すだけで済む自己クロニング法(S. Kawakami et al., "Mechanism of shape formation of 3D periodic nanostructures by bias sputtering", Applied Physics Letters, vol. 74, no. 3, p. 463, 1999, および川上ほか、前記特開)が知られている。

【0011】本発明の基本的考えは、基板の上の周期構造における基本周期長や周期性の方向をx, yに問はずとしないで、x, y, zに問して徐々にまたは段階やかな階段状に変化させ、z方向にも基本周期長をzに関して必要により変化させることにより、広範な加工自由度、機能自由度を獲得することにある(格子変調)。即ち從来のフォトニック結晶やフォトニック結晶光回路部品の発想は、2次元であるか3次元であるかを問わず、半導体で代表される天然物質の結晶とのアナロジーから脱却できていないために、天然結晶周期に基本周期長、基本周期の方向は2次元フォトニック結晶(部品)では面内で、3次元フォトニック結晶ではその体積内で、(導波路あるいは共振器に利用される“defect”(欠陥)は周期構造の乱れであるが格子の変調ではなく、かつ構造が狭い範囲で急激に変化する)基本的に一定である。

【0012】図1は2次元周期構造や板状3次元周期構造の面内の格子変調の一例を示す。基本的に正方形の格子を持つ周期構造において、BC側またはb側は、他の部分に比べて円の径方向の基本周期が1.5倍になつていている。即ち周期長が不連続に変化し、その周間長は複数周期(この場合は2周期)にわたって一定である。これを緩やかな階段状の変化という。また円周上で、周方向の周期長はA側のものが小さく、D側のものが大きく、径方向に徐々に変化している。このような構造は天然物質の結晶には存在しないが、フォトニック結晶では基板を電子ビームソグラフィーなどで自由に加工でき、自己クロニング法で3次元化できる。なお自己クロニング法では積層の厚さ方向の基本周期を徐々にも不連続にも変化させることが容易にできる。

【0013】図2において、周期構造の基本的な周期と

る。即ちBCを含む二つを取るか、あるいはBC, ADの二つを取るか変化している。要するに、空間全体で周期が一定であるか変化しているかに着目しているので、基本的な周期の方向、長さの定義にはある程度の幅がある。また、3次元フォトニック結晶を作製する方法が、Mekisらの前述の構造、馬場らの擬2次自己クロニング法、野田ら、Flemingらの前述の方法に共通に、センチメートル級の基板上にマイクロメートル級の厚さの周期構造を形成するので、これらを板状フォトニック結晶と総称することにする。板の面の中央の方向を面内または面平行な方向、それに垂直な方向を面垂直方向とよぶこととする。

【0014】本発明の方法により獲得される光回路素子機能の自由度の広さを以下の実施例によつて簡易説明する。

【0015】実施例1】図3は本発明による、通過波長がx方向に連続的に変化する干渉フィルタの構成図である。このフィルタは、Si_xO_y(n=3, 5)1とSiO₂(n=1, 5)2からなるフォトニック結晶部分がSiO₃とSiO₂板4と挟まれた構造を構成され、y方向には一様な周期を持つ。また一部のSi_xO_y層の厚さを他S_i層に比べ早く、具体的には0.9しょどし、キャビティ5を形成している。x方向の周期しょどしはy方向には一定と見なされるが、xの深い範囲にわたっては徐々にまたは階段的に変化しており、x=Xではしょどし=0.9Lz, x=X₁, X₂, X₃ではそれぞれしょどし=Lz, 1.1Lz, 1.2Lzである。x₂断面におけるフォトニック結晶の一周期内の形態を図4に示す。この例ではSi_xO_y層1とSiO₂層2の厚さはそれぞれ0.3Lz, 0.7Lzである。電界がy軸に平行な光がz方向に入射したときの構造全体の光透過率を波長の関数として図5に示す。このように干涉フィルタの通過波長を空間に変化させることは次のようないきめを生む。

(1) 光通過用の複数の階級フィルタにおいて、通過帯が所望の周期で配置される組み合わせを要する場合がある。本技術によれば、基板上に適切な周期で複数の利用領域を選べば、1枚の基板上に一回の工程で所望のフィルタ群を形成することができる。

(2) 光通過において極めて狭い通過帯域を持つフィルタ(例えば比帶域幅=1/200)が近年要求されており。このようなフィルタの作製においては不良品の割合が極めて高い。本技術を適用することによって、所定の波長に通過域を持つような基板上の適切な位置を選び出し確実に良品を得ることができる。

(3) 広帯域の光ビームを干渉分析による干涉フィルタ上でx方向に偏引することにより、通過波長が連続的に変化するので、それを分光計測用の光源として利用するこ

とができる。
【0016】また、図3は鏡面の鏡のものであつて、例えば上面鏡を図5に示すように扇形ペターンとし、基本周期、基本反射率を正方形に近づけて近くして入射光の電界の向きによらぬ動作をさせることができ。このとき、利用される領域を図5中の長方形領域6のように既定してもよい。また図7のようにx方向の周期をy方向の周期とほぼ一致する範囲で変化させ、特性の電場方向依存性を十分小さくすることもできる。

【0017】[実施例2] 3次元フォトニック結晶においてはわゆるスーパーブリズム効果が実験的に見出されている。即ち、基板上に作製された3次元フォトニック結晶に、外筋から光を基板に平行に入射させて、フォトニック結晶内にある屈折角を持って伝わる光としたときに屈折角が1%だけ逆時計方向に変化するとき屈折角を6°も逆時計方向に変化させることができる。これは通常のブリズムよりも2~3倍高い屈折効果である。ゆえに光波段に敏感な合波分波器素子を得ることができ。

【0018】図8は本発明を上面が三角格子を持つスーパーブリズムに適用したものである。基板上に六角形または円形の孔を三角格子状に作製し、その上に屈折率の異なる2種類の導電体を自己クローニング法により交互に構成して3次元フォトニック結晶を作製する。三角格子のx方向周期はあるyの値の附近でほとんど一定で有限の光ビームに対してははん所的に一定周期構造として働くが、yの値と共にx方向周期が徐々に変化する。格子変調のない従来のスーパーブリズム構造においては、ブリズム効果のもつとも頗るに現れるのは比較的狭い波長範囲に限られる。図8の構造においては、光ビームの入射位置を選択することにより、ブリズム効果の頂点に現れる波長範囲の中心を逆規則に選択することができる。一個のネコでシステムの中心波長の設計に柔軟性をもつてできることができると共に、作製技術の側からみると、作製誤差を光ビームの入射位置の選択により補償できる。即ちA付近に入射した光は入射波長範囲に光を閉じ込める平板状の導波路(後述)を併用していることにより、中心波長がy方向に変化している導波型スーパーブリズムを得ることができ、入射した光は△から△+△の範囲で向じく散らである。図8中の符号7、8、9はそれぞれ波長△、△+△、△+△の光線を示している。またこのあくまでスパッタエンジニアリングないしスパッタエンジニアリングによって一貫プロセスにより中核や異種プロセスを挟むことなく作製することができる。例えば図8の構造は図13に示すような、凹み1/4を持つ基板15の上にS+T+SiO₂をそれぞれ並び入射スパッタリングにより作製された。

【0019】[実施例3] 図9には、本発明を3次元フォトニック結晶導波路に適用した例を示す。同例にお

いて、10、11はそれぞれ屈屈折率材料(例えばSiO₂)、低屈折率材料(例えばSi₃N₄)を示している。100221また図15に示すように3次元フォトニック結晶の中の曲りチャネル導波路を形成することもできる。このような曲り導波路において、フォトニック結晶の基本周期長さは1μmの数分の1以下であり、光回路の小型化のために必要とされる曲り半径は10μmから100μm程度であるから、曲りの内側部と外側部の曲りに沿う方向の初期長さの差はさほど大きくない。また、図14、図15において曲りを急峻にしたとき外側の部分において曲りを防ぐため、曲りの外側部が生ずる。放射に伴う損失を防ぐため、曲りの外側の部分において曲率を急峻にしたとき外側部の半径方向周期長より小さくした領域を付加して、その部分の実効屈折率を低下させることにより放射を抑止することができる。

【0023】曲り導波路を平面内で一巡させてループを作りリンク共振器を形成することができるとはいうまでもない。本例では3次元フォトニック結晶について説明したが、2次元導波路で同じ考え方が適用できるのは勿論である。

【0024】

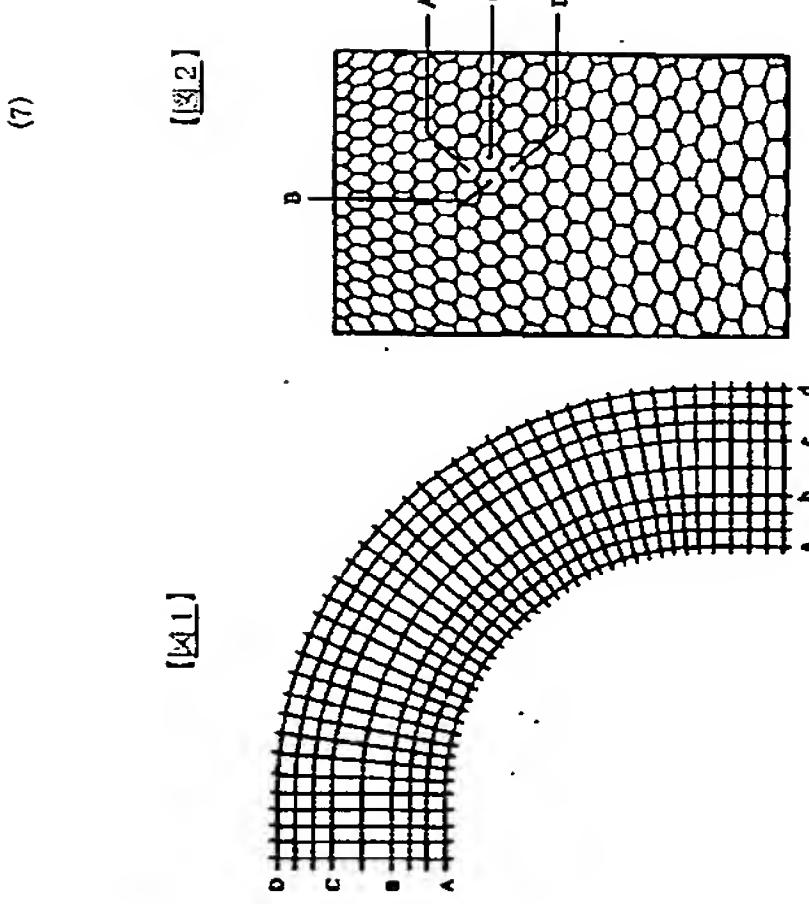
【発明の効果】請求項1、2、3、4により、フォトニック結晶の空洞的に緩やかな格子変調を利用して巨視的设计的な媒質定数に制約をもたらせることができ光回路の設計自由度が大幅に増す。請求項5、6により透過波長に制約のあるフィルタが得られる。請求項7、8により位置により可調できるスーパーブリズムが得られる。請求項9、10、11、12により、作製が容易・光ファイバとの結合が容易・曲がりによる放射・反射がないフォトニック結晶導波路が得られる。
【図1】 格子変調型導波路の構造の一例を示す説明図。
【図2】 格子変調型周期構造における構造の取り方の例を示す説明図。
【図3】 第1の実施例である干渉フィルタの構造を示す説明図。
【図4】 第1の実施例である干渉フィルタを構成する周期構造の単位構造(ユニットセル)を示す説明図。

【0025】図1の実施例である干渉フィルタの透過スペクトルを示す説明図。
【図5】 第1の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。
【図6】 第1の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。
【図7】 第1の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。
【図8】 第2の実施例であり、本発明をスベーハー・プリズムに適用した構造を示す説明図。
【図9】 第3の実施例であり、本発明を3次元フォトニック結晶導波路に適用した構造を示す説明図。
【図10】 図9の構造を簡略化した導波路構造を示す説明図。
【図11】 図10の導波路構造における、導波モードの電界分布の数値計算例を示す説明図。
【図12】 図9の構造を簡略化したチャネル型導波路構造を示す説明図。

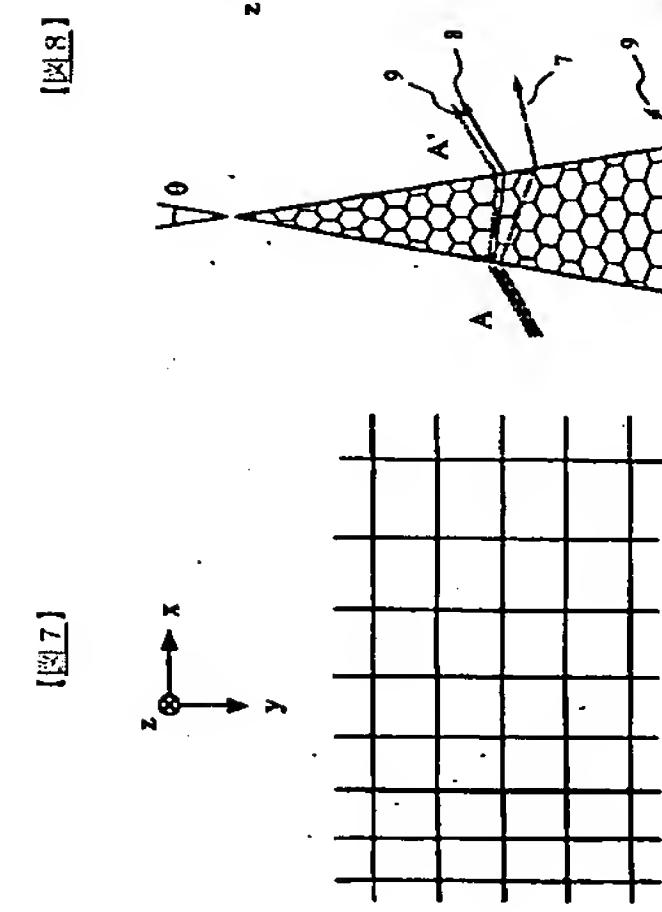
【図13】 図9の導波路構造の作製に用いた樹脂の形状の一例を示す説明図。
【図14】 第4の実施例である格子変調型曲がり波路の構造を示す説明図。

【図15】 第4の実施例である3次元フォトニック結晶中の格子変調型曲がり導波路の構造を示す説明図。
【図16】 第4の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。
【図17】 第4の実施例である干渉フィルタを構成する周期構造の単位構造を示す説明図。

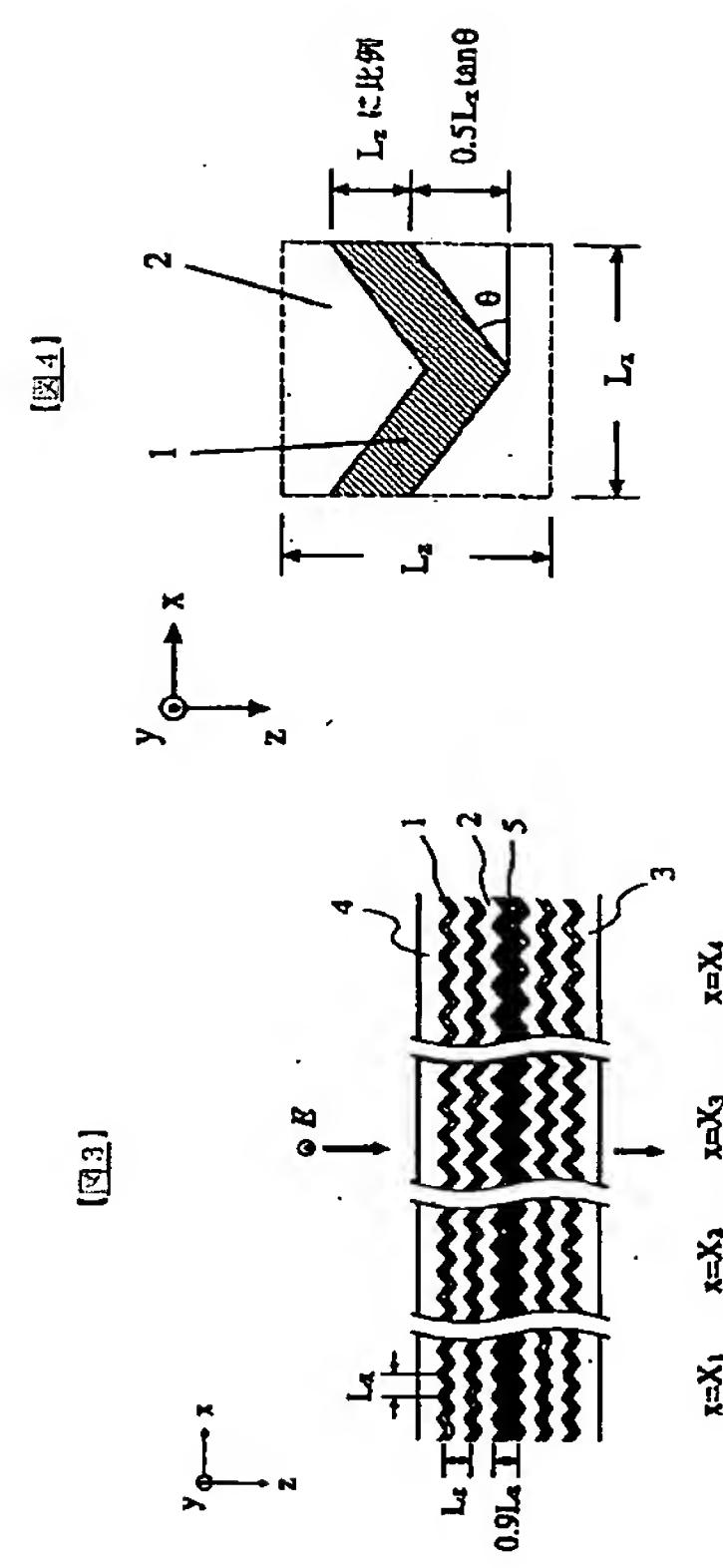
【0021】「実施例4」フォトニック結晶導波路において、急峻な曲りを低い放射損失と低い反射(光源への戻り光)を挾って実現するのに、面内周期の方向を空間的に変調して、周期構造のもつ特性と滑らかな曲がりと



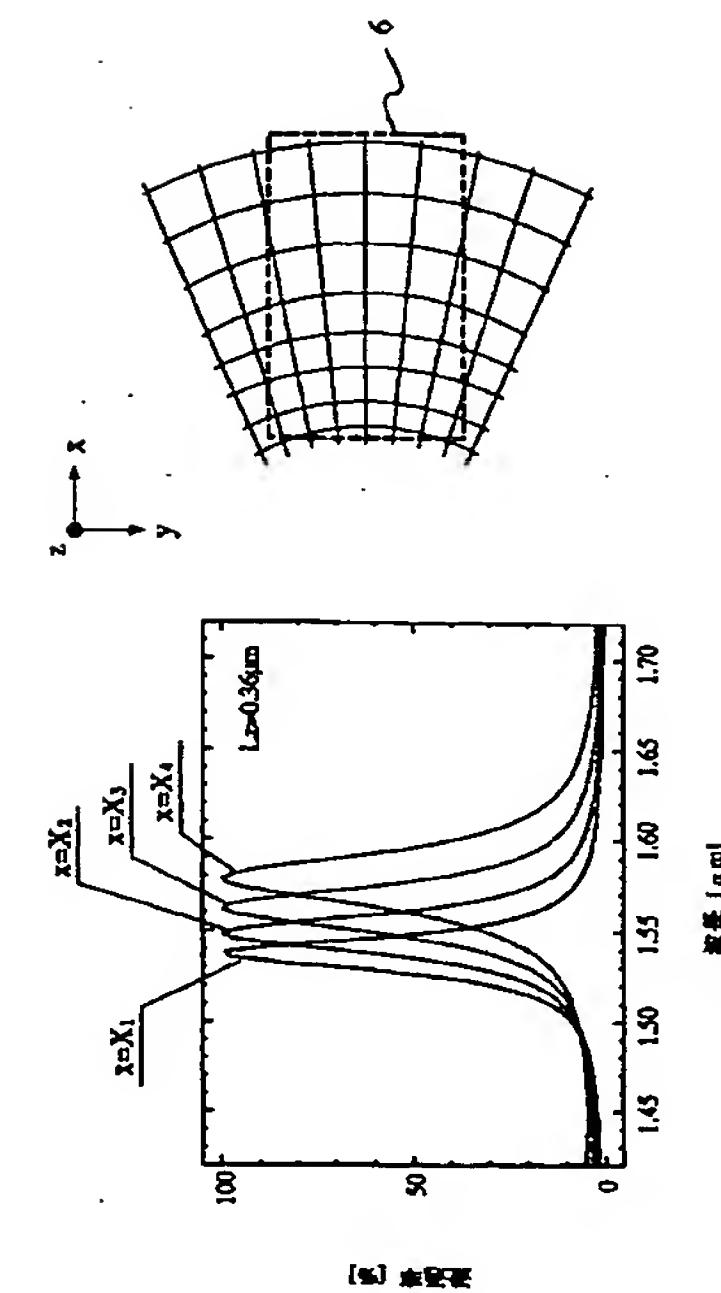
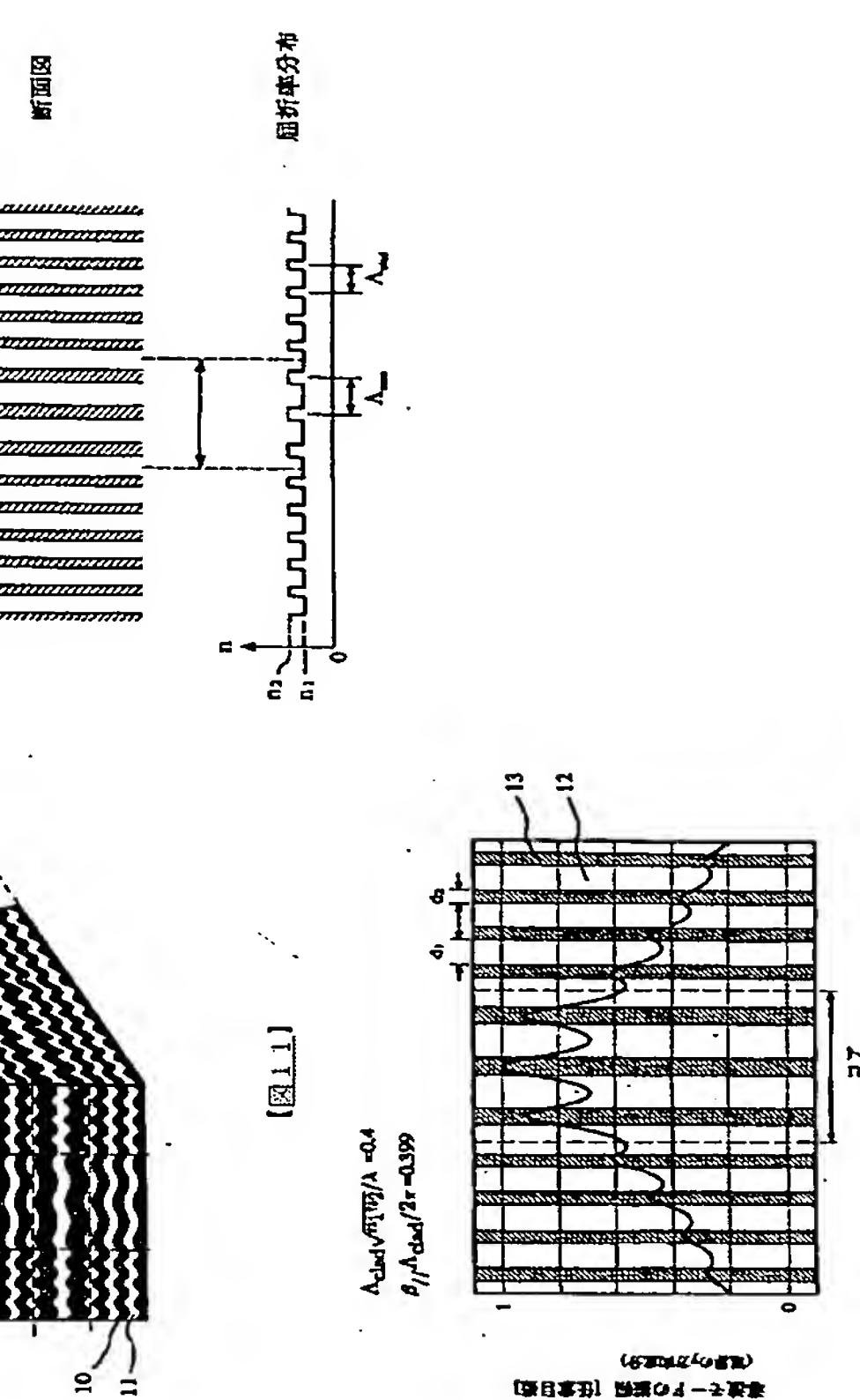
〔四二〕



卷之三

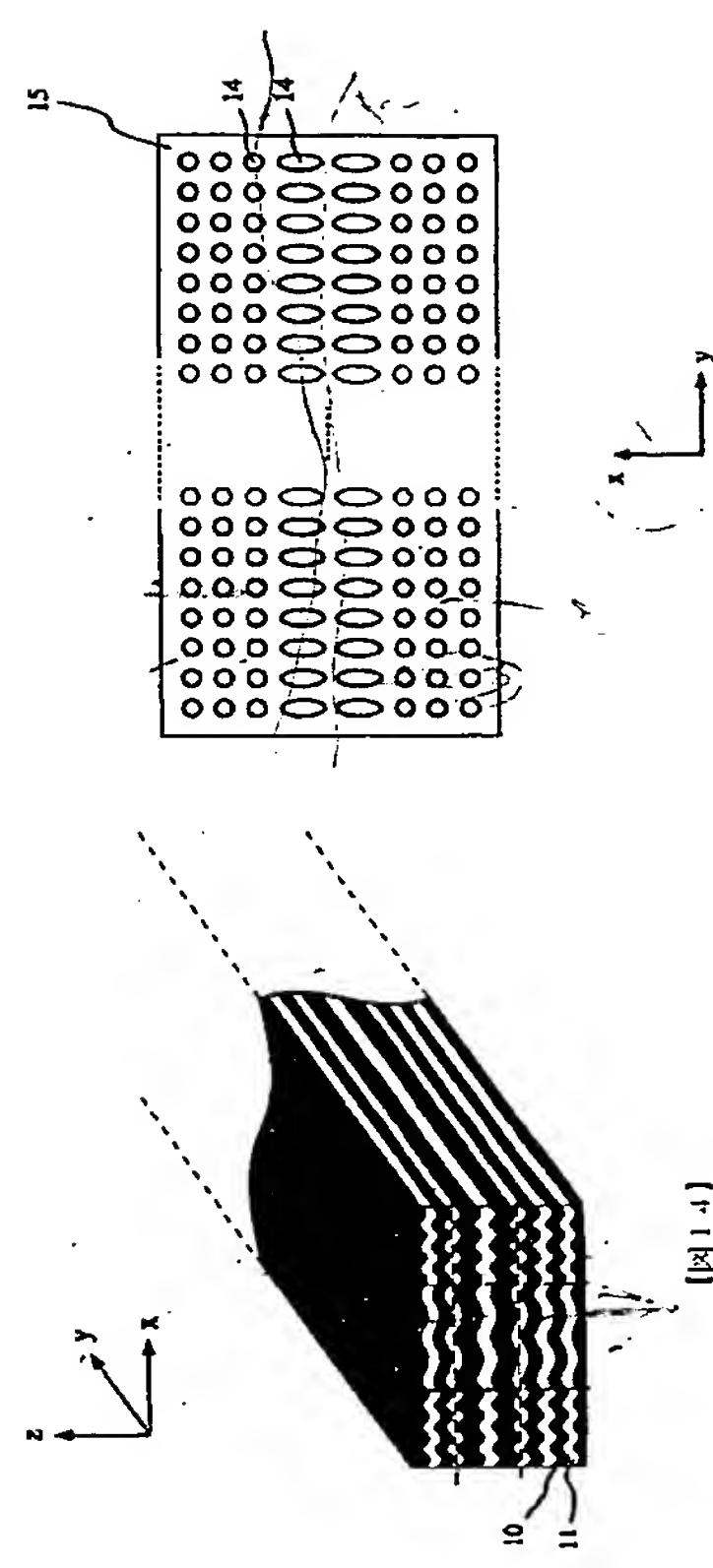


109

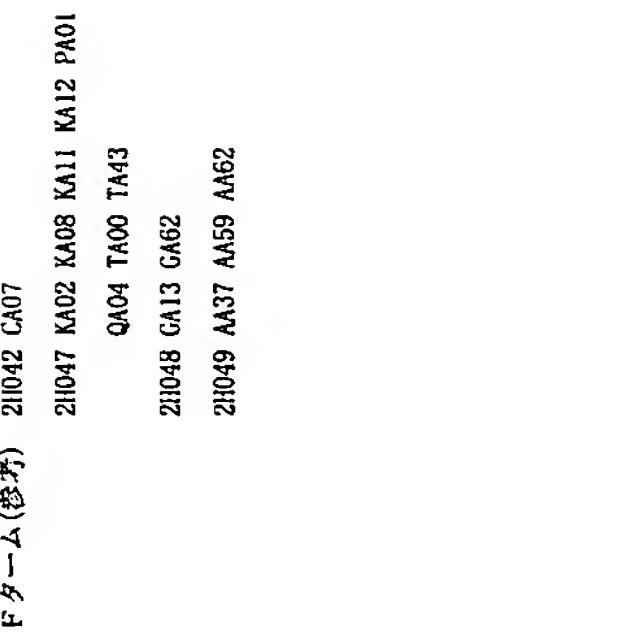


51

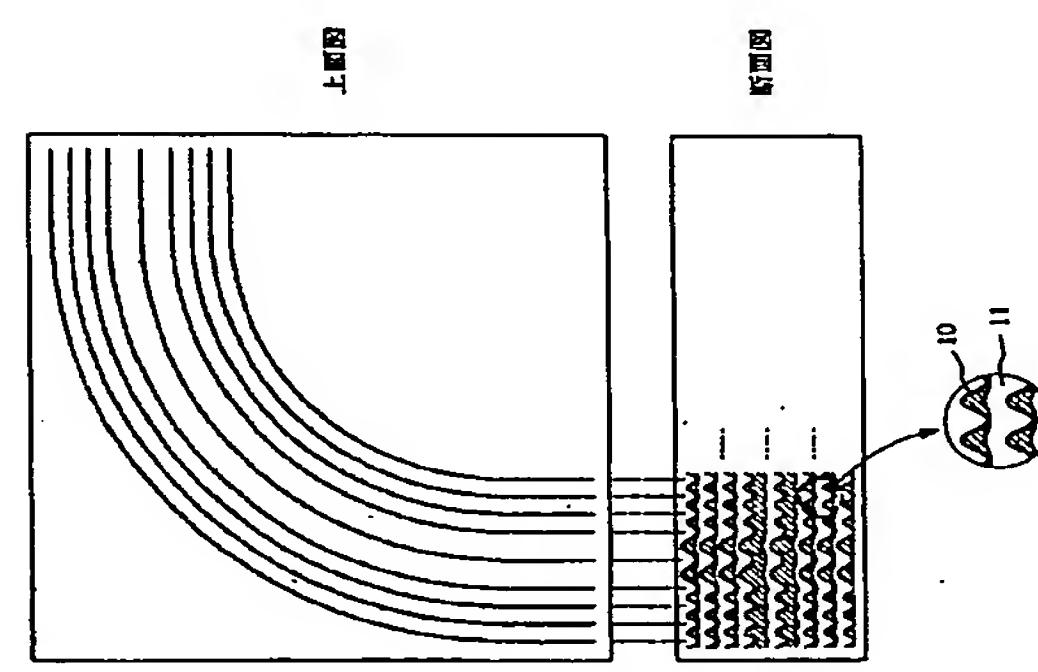
[図1.2]



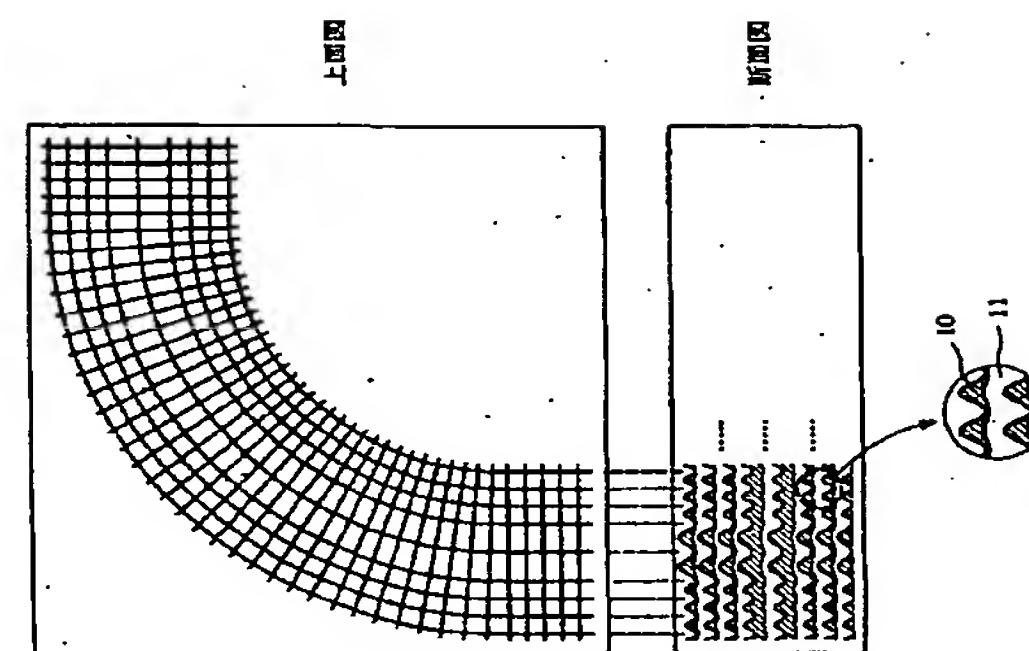
[図1.3]



[図1.4]



[図1.5]



フロントページのねじき

(72)発明者 大寺 康夫
宮城県仙台市青葉区土崎1丁目6番15号
コード金子201号
ヨーボハイツ103号

(72)発明者 酒井 義剛
宮城県仙台市青葉区八幡6丁目1番2号
ヨーボハイツ103号

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.